

# Mesure de la respiration du sol

Lamade E.

CIRAD-CP, BP 5035, Montpellier Cedex 1, France

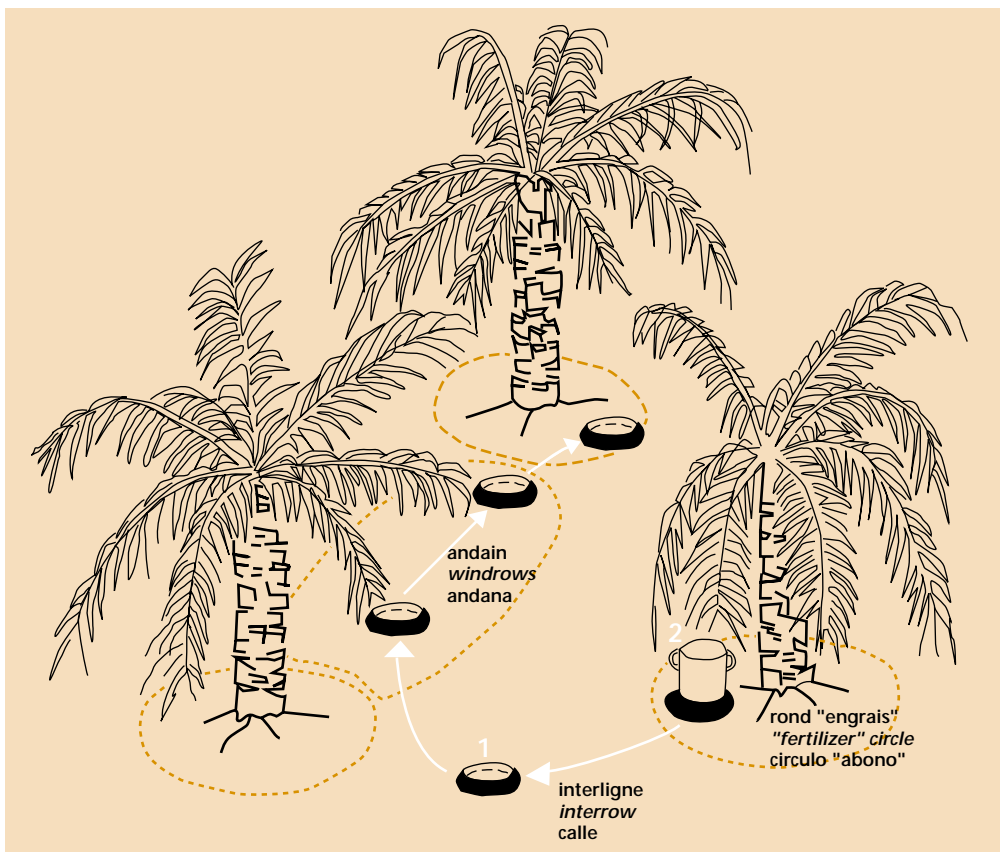
**L**e sol est un maillon essentiel du cycle global du carbone car il contient 70 % du carbone organique biosphérique. Le carbone du sol a deux origines principales : celle provenant de la sénescence de la biomasse végétale, issu de l'atmosphère et assimilé par voie photosynthétique et le carbone issu de l'activité des micro-organismes du sol. Plus rarement, du carbone «fossile» peut provenir d'une roche mère sédimentaire. Un des meilleurs moyens d'estimer la dynamique de la décomposition et des flux de carbone liés à ces processus est la mesure du dégagement du  $\text{CO}_2$  du sol, appelé plus généralement «respiration du sol». La mesure donne d'intéressantes informations sur les activités des micro-organismes du sol et du compartiment racinaire, très difficiles à mesurer directement.

Depuis une cinquantaine d'années, les techniques de mesure de la respiration du sol ont évolué. Les plus nombreuses relevaient du piégeage et utilisaient les propriétés d'absorption du  $\text{CO}_2$  par des composants chimiques tels que la chaux sodée ou la soude. Mais, d'après de récentes synthèses bibliographiques, ces techniques, d'emploi facile, surestiment le flux de gaz carbonique et présentent l'inconvénient de ne pas être instantanées sur le terrain. L'apparition des analyseurs portables IRGA (*Infrared Gas Analyzer*) a permis de multiplier les prélèvements directs d'air dans des enceintes placées sur le sol étudié. On a pu alors, plus facilement, explorer les variations spatio-temporelles de ce flux.

## Méthode

Les mesures de respiration du sol sont effectuées avec un système «semi-fermé». Une enceinte métallique s'emboîte hermétiquement sur un socle évidé contenant la portion de sol à étudier. On effectue des prélèvements d'air périodiques et on suit ainsi l'augmentation de la concentration du  $\text{CO}_2$  dans l'enceinte en fonction du temps.

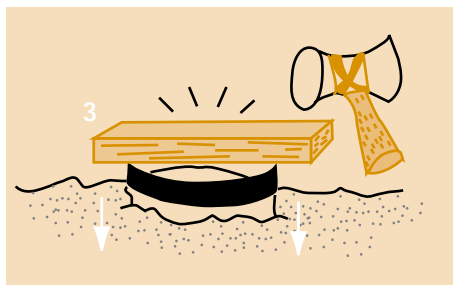
À cause du dispositif de plantation en quinconce et du dépôt des palmes élaguées dans les andains, le sol n'est pas homogène. Pour en tenir compte, les mesures s'effectuent selon une maille comportant 5 positions : l'andain, l'interligne, le rond «engrais» et deux zones intermédiaires (figure 1A) représentatives de la parcelle. Les résultats intègrent, ainsi, l'ensemble des gradients de matière organique du sol et de densité racinaire.



**Figure 1A.** Mode de circulation de l'enceinte sur les cinq emplacements d'une maille élémentaire de trois palmiers en quinconce. / Moving the measuring chamber to the five different positions in a grid covering three palms planted in triangles. / Modo de circulación del recinto en los cinco sitios de una red elemental de tres palmas al tres bolillo.

1 : socle / base / pedestal

2 : enceinte en place pour la mesure  
chamber installed for measurements  
recinto en el sitio para la medición



**Figure 1B.** Enfoncement du socle dans le sol.

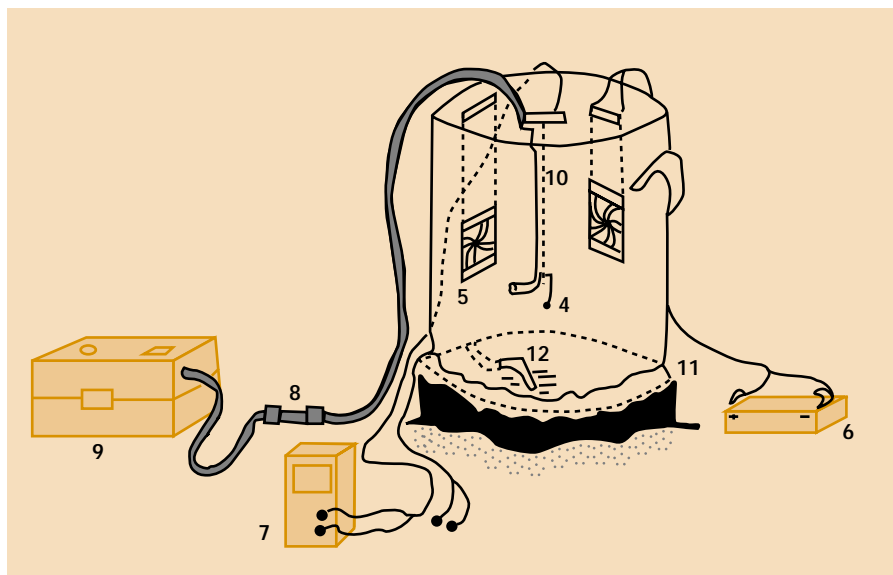
*Driving the base into the ground. / Hincar el pedestal en el suelo.*

**3 :** morceau de bois dense / *piece of hardwood*  
trozo de madera densa

## Dispositif

Une enceinte métallique cylindrique (figure 1C) de 40 cm de diamètre et de 50 cm de hauteur s'emboîte très précisément sur un support en métal épais, enfoncé de 5 à 15 cm en fonction du type de sol (photo 1). Cette hauteur correspond à la zone supposée la plus active au niveau de l'activité microbienne. Le socle est constitué d'un métal très épais, effilé dans la partie inférieure afin de mieux pénétrer dans le sol. On dispose plusieurs socles (au moins cinq) que l'on enfonce préalablement aux mesures dans les cinq emplacements de la maille définis précédemment. Pour enfoncer le socle dans le sol on utilise un gros marteau et un billon de bois dense (azobé, teck) de longueur supérieure au diamètre du socle (figure 1B).

On réalise l'étanchéité entre le socle et l'enceinte grâce à l'application de mastic souple sur la jonction. Quatre ventilateurs, reliés à une batterie extérieure, assurent à l'intérieur de l'enceinte une bonne homogénéisation de l'air. Une thermistance 10 K (kelvins) reliée à un multimètre indique à tout moment l'évolution de la température de l'air à l'intérieur de la chambre. Une seconde thermistance enduite d'Araldite est placée directement dans le sol à l'intérieur du socle. Un tube de caoutchouc, inerte au CO<sub>2</sub>, connecté à une petite canne de prélèvement à l'intérieur de l'enceinte et relié à l'analyseur, permet le prélèvement d'un échantillon d'air. On place, avant l'analyseur, une cartouche de desséchant (perchlorate de magnésium) pour protéger l'appareil de mesures et empêcher les interférences avec la vapeur d'eau. La pompe de l'appareil sous tension permet un prélèvement de 0,2 l d'air pendant une minute. Ce volume prélevé est alors jugé négligeable par rapport au volume de



**Figure 1C.** Vue interne de l'enceinte et du dispositif de mesure. / *Internal view of the chamber and measuring apparatus. / Vista interna del recinto y del dispositivo de medición.*

**4 :** thermistance 10 K / *10 K thermistor / termistancia 10 K*

**5 :** ventilateurs / *fans / ventiladores*

**6 :** batterie 12 V / *12 V battery / batería 12*

**7 :** multimètre / *multimeter / multimetro*

**8 :** cartouche desséchante / *desiccator cartridge / cartucho desecante*

**9 :** analyseur IRGA / *infrared gas analyser (IRGA) / analizador IRGA*

**10 :** canne de prélèvement / *rubber hose / tubo de toma de muestra*

**11 :** mastic souple / *flexible mastic / masilla flexible*

**12 :** thermistance + Araldite / *thermistor + Araldite / termistancia + Araldite*



**Photo 1.** Mise en place de l'enceinte sur le socle. / *Fitting the chamber to the base. / Instalación del recinto en el pedestal.*

E. Lamade



E. Lamade

**Photo 2.** Dispositif de laboratoire pour mesurer la respiration du sol sans les racines. / *Laboratory device for measuring soil respiration without roots.* / Dispositivo de laboratorio para medir la respiración del suelo sin las raíces.

l'enceinte (plus de 60 l) : la mesure n'occasionne donc pas de dépression significative à l'intérieur de la chambre et il n'y a pas d'aspiration artificielle du gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) du sol.

Remarque : l'enceinte de mesure et les socles sont réalisés localement chez des ferrailleurs ; le critère le plus important à respecter est l'emboîtement précis de l'enceinte sur le socle.

## Mesures

Le premier prélèvement est effectué au moment où le cylindre est placé hermétiquement sur son support et sert de référence. Ensuite, on effectue deux prélèvements à 5 min d'intervalle (cet intervalle est fonction de l'intensité du flux). Une formule mathématique adaptée calcule le flux instantané de  $\text{CO}_2$  du sol en micromoles de  $\text{CO}_2$  par  $\text{m}^2$  de sol et par seconde. On

mesure simultanément la température de l'air dans l'enceinte et la température du sol grâce aux deux thermistances installées. En une heure, on fait circuler l'enceinte sur cinq positions de la maille.

## Interprétation

Le flux de  $\text{CO}_2$  est très dépendant de la température, de l'humidité, du contenu en matière organique du sol et de la densité racinaire.

Pour interpréter correctement les résultats, il faut donc tenir compte des facteurs précédemment énoncés et les connaître simultanément.

Pour estimer la part de la respiration racinaire dans le flux total mesuré, on collecte, dans le socle, des échantillons de sol. Après les avoir débarrassés de leurs racines, on mesure leur respiration en laboratoire, les échantillons de sol étant placés dans un grand récipient étanche en verre

(photo 2). Par différence avec les mesures *in situ*, on obtient la part de la respiration dite autotrophique, due au système racinaire.

## Conclusion

D'importantes campagnes de mesures ainsi que des transferts techniques ont déjà été réalisées au Bénin et en Indonésie. Cette technique simple nécessite trois personnes pour effectuer correctement le déplacement de l'enceinte et son insertion sur le socle.

La connaissance des flux de  $\text{CO}_2$  pour un type d'agrosystème renseigne sur la dynamique du carbone et donc sur l'activité du sol ; elle permet aussi d'estimer à l'échelle d'une année la quantité de carbone d'origine photosynthétique allouée au compartiment racinaire. Elle peut servir à l'élaboration d'un indice de fertilité du sol. ■

# Soil respiration measurements

Lamade E.

CIRAD-CP, BP 5035, Montpellier Cedex 1, France

The soil is an essential sink in the global carbon cycle, since it contains 70% of the organic carbon in the biosphere. Soil carbon has two main origins: that produced by the senescence of plant biomass, assimilated from the air by photosynthesis, and that produced by soil microorganism activity. More rarely, "fossil" carbon can come from sedimentary bed rock. One of the best ways of estimating the dynamics of decomposition and carbon flows linked to these processes is to measure the CO<sub>2</sub> given off by the soil, more generally known as "soil respiration". This measurement provides useful information on microorganism activities in the soil and the root compartment, which are difficult to measure directly.

Over the past fifty years or so, soil respiration measurement techniques have evolved. Most previous techniques made use of absorption by chemicals such as soda lime or soda to collect CO<sub>2</sub> in the field. However, according to recent bibliographical synopses, these techniques, albeit easy to use, overestimate carbon dioxide flow and have the drawback of not being instantaneous in the field. The advent of portable IRGAs (Infrared Gas Analysers) made it possible to increase the number of air samples taken directly in chambers placed on the soil being studied. This made it easier to study the spatio-temporal variations in CO<sub>2</sub> flow.

## Method

Soil respiration measurements are taken in a «semi-closed» system. A metal chamber is hermetically fitted to a hollow base surrounding the soil sample to be studied. Air samples are taken regularly to monitor the increase in CO<sub>2</sub> concentration in the chamber over time.

Given that palms are planted in triangles and that pruned fronds are placed in the windrows, the soil in plantations is not homogeneous. To allow for this, measurements are taken in a grid of five positions: the windrow, the interrow, the "fertilizer" circle and two intermediate zones (figure 1A) representative of the plot. The

results therefore take account of differences in the organic matter content of the soil and of root density gradients.

## Design

A cylindrical metal chamber (figure 1C) 40 cm in diameter and 50 cm high is fitted very tightly onto a thick metal base, driven 5 to 15 cm into the ground, depending on the type of soil (photo 1). This depth corresponds to what is generally supposed to be the zone with the most microbial activity. The base is made of very thick metal and the lower end is sharpened so as to penetrate the soil more effectively. Several bases are used (at least five), which are driven into the ground at the five points in the above grid. A large hammer and a piece of hardwood (azobe, teak) longer than the diameter of the base are used for this (figure 1B).

The join between the base and the chamber is sealed with flexible mastic. Four fans connected to an external battery mix the air inside the chamber. A 10 K (kelvins) thermistor connected to a multimeter gives a constant readout of the air temperature inside the chamber. A second thermistor coated with Araldite is placed directly in the soil inside the base. A CO<sub>2</sub>-inert rubber hose, connected to a small sampling tube inside the chamber and to the analyser, is used to take air samples. A desiccator cartridge (magnesium perchlorate) is fitted before the analyser to protect the measuring apparatus and prevent interference with water vapour. When plugged in, the pump in the apparatus can draw off a sample of 0.2 l of air in a minute. The volume of air removed is considered to be negligible in relation to the volume of the chamber (over 60 l): measurement therefore does not cause any significant loss of pressure inside the chamber, and there is no artificial aspiration of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) from the soil.

Comment: the measuring chamber and the bases are produced by local metalworkers; the main criterion is that the chamber should fit tightly onto the base.

## Measurements

The first sample is taken when the cylinder is fitted hermetically to its base, and is used as a reference. Two samples are then taken at 5 min intervals (the interval depends on the intensity of the flow). An appropriate mathematical formula calculates the instantaneous CO<sub>2</sub> flow from the soil in micromoles of CO<sub>2</sub> per m<sup>2</sup> of soil surface, per second. The air temperature inside the chamber and the soil temperature are measured simultaneously by the two thermistors. In an hour, the chamber is moved to the five positions in the grid.

## Interpretation

CO<sub>2</sub> flow is highly dependent on the temperature, relative humidity and organic matter content of the soil and on root density.

If the results are to be interpreted correctly, it is important to take the above factors into account and have information on all four factors at the same time.

To estimate the share of root respiration in the total flow measured, soil samples are taken from the base. After removing the roots, soil respiration is measured in the laboratory in a large glass container (photo 2). The second measurement is subtracted from the first *in situ* measurement to give the figure for autotrophic respiration by the root system alone.

## Conclusion

Comprehensive measuring campaigns and technology transfers have already been carried out in Benin and Indonesia. It takes three people to move the chamber around the grid and fit it to the base for this simple technique.

Knowledge of CO<sub>2</sub> flows in a given type of agrosystem provides information on carbon dynamics, hence on soil activity; it also enables an estimate of the amount of assimilates allocated to the root compartment over the year. It can also be used as a fertility indicator. ■



# Medición de la respiración del suelo

Lamade E.

CIRAD-CP, BP 5035, Montpellier Cedex 1, France

El suelo es una parte esencial del ciclo global del carbono dado que contiene el 70 % del carbono orgánico biosférico. El carbono del suelo tiene dos orígenes principales: el que proviene de la senescencia de la biomasa vegetal, oriundo de la atmósfera y asimilado por vía fotosintética y el carbono que proviene de la actividad de los microorganismos del suelo. Más raras veces, carbono "fósil" puede provenir de una roca madre sedimentaria. Uno de los mejores medios para estimar la dinámica de la descomposición y de los flujos de carbono vinculados con estos procedimientos es medir el escape del CO<sub>2</sub> del suelo, que más corrientemente se llama "respiración del suelo". La medición proporciona interesantes datos sobre las actividades de los microorganismos del suelo y del compartimento radicular, muy difíciles de medir directamente.

Desde hace unos cincuenta años, van evolucionando las técnicas de medición de la respiración del suelo. Las más numerosas competían del trampeo y utilizaban las propiedades de absorción del CO<sub>2</sub> mediante componentes químicos tales como la cal con sosa o sosa. Pero, según recientes síntesis bibliográficas, estas técnicas, de fácil empleo, sobrestiman el flujo de gas carbónico y presentan el inconveniente de no resultar instantáneas en el terreno. La aparición de los analizadores portátiles IRGA (*Infrared Gas Analyzer*) permitió multiplicar las tomas de muestras directas de aire en recintos colocados sobre el suelo estudiado. Entonces, se ha podido, con más facilidad, explorar las variaciones espacio-temporales de este flujo.

## Método

Las mediciones de respiración del suelo se realizan con un sistema "semicerrado". Un recinto metálico se encaja herméticamente en un pedestal ahuecado que contiene la porción de suelo por estudiar. Se realizan tomas de muestras de aire periódicas y de este modo se vigila el incremento de la concentración del CO<sub>2</sub> en el recinto según el tiempo.

Debido al dispositivo de siembra al tres bolillo y al depósito de las palmas podadas en las andanas, el suelo no es homogéneo. Para tomarlo en cuenta, las mediciones se realizan conforme a una red que incluye 5 posiciones: la andana, la calle, el círculo "abono" y dos zonas intermedia-

rias (figura 1A) representativas de la parcela. Los resultados integran, de esta forma, el conjunto de los gradientes de materia orgánica del suelo y de densidad radicular.

## Dispositivo

Un recinto metálico cilíndrico (figura 1C) de 40 cm de diámetro y de 50 cm de altura se encaja con mucha precisión en un soporte de metal grueso, hincado de 5 a 15 cm con arreglo al tipo de suelo (foto 1). Esta altura corresponde a la zona supuesta más activa al nivel de la actividad microbiana. El pedestal está constituido de un metal muy grueso, aguzado en la parte inferior para mejor penetrar en el suelo. Se preparan varios pedestales (por lo menos cinco) que se hincan antes de realizar las mediciones en los cinco sitios de la red definidos previamente. Para hincar el pedestal en el suelo se utiliza un martillo gordo y un tronco de madera densa (azobé, teca) cuyo largo es superior al diámetro del pedestal (figura 1B).

Se realiza la estanqueidad entre el pedestal y el recinto aplicando masilla flexible en la conexión. Cuatro ventiladores, reunidos a una batería exterior, aseguran dentro del recinto una buena homogeneización del aire. Una termistancia 10 K (kelvins) reunida con un multimetro indica a cada momento la evolución de la temperatura del aire dentro de la cámara. Una segunda termistancia untada con Araldite se coloca directamente en el suelo dentro del pedestal. Un tubo de goma, inerte al CO<sub>2</sub>, conectado con un pequeño tubo de toma de muestra dentro del recinto y reunido con el analizador, permite sacar muestra de una muestra de aire. Se coloca, antes del analizador, un cartucho de desecante (perclorato de magnesio) para proteger el aparato de mediciones e impedir las interferencias con el vapor de agua. La bomba del aparato bajo tensión permite tomar muestra de 0,2 l de aire durante un minuto. Entonces, se estima este volumen tomado despreciable en comparación con el volumen del recinto (más de 60 l): la medición no provoca por lo tanto depresión significativa dentro de la cámara y no hay aspiración artificial del gas carbónico (CO<sub>2</sub>) del suelo.

Observación: el recinto de medición y los pedestales se realizan en el sitio en los chatarros; el mayor criterio por respetar es el encaje preciso del recinto en el pedestal.

## Mediciones

La primera toma de muestra se realiza en el momento en que el cilindro se coloca herméticamente en su soporte y sirve de referencia. Después, se realizan dos tomas de muestras con 5 min de intervalo (este intervalo depende de la intensidad del flujo). Una fórmula matemática adaptada calcula el flujo instantáneo de CO<sub>2</sub> del suelo en micro moles de CO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup> de suelo y por segundo. Se mide simultáneamente la temperatura del aire en el recinto y la temperatura del suelo mediante dos termistancias instaladas. En una hora, se hace circular el recinto sobre cinco posiciones de la red.

## Interpretación

Le flujo de CO<sub>2</sub> depende mucho de la temperatura, de la humedad, del contenido de materia orgánica del suelo y de la densidad radicular.

Para interpretar correctamente los resultados, resulta pues necesario tomar en cuenta los factores previamente enunciados y conocerlos simultáneamente.

Para estimar la parte de la respiración radicular en el flujo total medido, se recolectan, en el pedestal, muestras de suelo. Después de haberles quitado sus raíces, se mide su respiración en el laboratorio, las muestras de suelo se colocan en un recipiente grande impermeable de vidrio (foto 2). Por diferencia con las mediciones *in situ*, se logra la parte de la respiración llamada autotrófica, debida al sistema radicular.

## Conclusión

Se realizaron ya importantes campañas de mediciones así como transferencias de tecnología en Bénin y en Indonesia. Esta técnica sencilla necesita tres personas para realizar correctamente el desplazamiento del recinto y su inserción en el pedestal.

El conocimiento de los flujos de CO<sub>2</sub> para un tipo de agrosistema informa sobre la dinámica del carbono y por lo tanto sobre la actividad del suelo; también permite estimar a escala de un año la cantidad de carbono de origen fotosintético asignada al compartimento radicular. Puede servir para elaborar un índice de fertilidad del suelo. ■